

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
Academic Session 2008/2009  
*Peperiksaan Semester Pertama  
Sidang Akademik 2008/2009*

November 2008  
*November 2008*

**EMC 311/3 – Mechatronics**  
***Mekatronik***

Duration : 2 hours  
*Masa : 2 jam*

---

**INSTRUCTIONS TO CANDIDATE:**

**ARAHAN KEPADA CALON :**

Please check that this paper contains **TWELVE (12)** printed pages and **SIX (6)** questions before you begin the examination.

*Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **DUA BELAS (12)** mukasurat dan **ENAM (6)** soalan yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan.*

Answer **FOUR (4)** questions.

*Jawab **EMPAT (4)** soalan.*

Please answer **TWO (2)** questions from **SECTION A** and **TWO (2)** questions from **SECTION B**.

*Sila jawab **DUA (2)** soalan dari **BAHAGIAN A** dan **DUA (2)** soalan dari **BAHAGIAN B**.*

Answer all questions in **English** OR **Bahasa Malaysia** OR a combination of both.

*Calon boleh menjawab semua soalan dalam **Bahasa Malaysia** ATAU **Bahasa Inggeris** ATAU kombinasi kedua-duanya.*

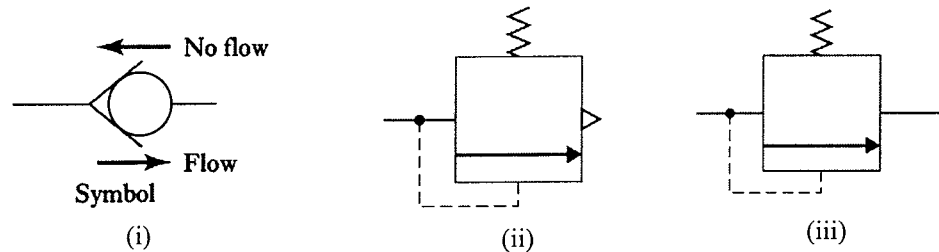
Each question must begin from a new page.

*Setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.*

**SECTION A**

- Q1. [a]** Figures Q1[a](i)-(iii) show three types of valves commonly used in pneumatic actuation systems. Name these valve types and explain their applications.

*Rajah S1[a](i)-(iii) menunjukkan tiga jenis injap yang lazim digunakan dalam sistem pemacuan pneumatik. Namakan injap-injap tersebut dan terangkan kegunaannya.*



**Figure Q1[a]**  
*Rajah S1[a]*

(15 marks/markah)

- [b]** A single acting cylinder is to be used to hold a workpiece against a wall for temporary clamping as shown in Figure Q1[b]. The workpiece has a mass of 25 kg and the wall has a coefficient of static friction  $\mu_s = 0.3$ . The spring in the cylinder has stiffness  $k = 2 \text{ kN/m}$ . In order to clamp the workpiece against the wall the cylinder has to extend by 12 cm. If the maximum pressure available at the compressor is 5 bar, determine the minimum diameter of cylinder required.

*Silinder tindakan tunggal digunakan untuk memegang bahan kerja terhadap dinding untuk pengapitan sementara seperti ditunjukkan dalam Rajah S1[b]. Bahan kerja tersebut mempunyai berat 25 kg dan dinding mempunyai pekali geseran statik  $\mu_s = 0.3$ . Pegas di dalam silinder mempunyai kekakuan  $k = 2 \text{ kN/m}$ . Untuk mengapit bahan kerja pada dinding silinder perlu memanjang sejauh 12 sm. Jika tekanan maksimum yang didapati pada pemampat ialah 5 bar, tentukan garispusat silinder minimum yang diperlukan.*

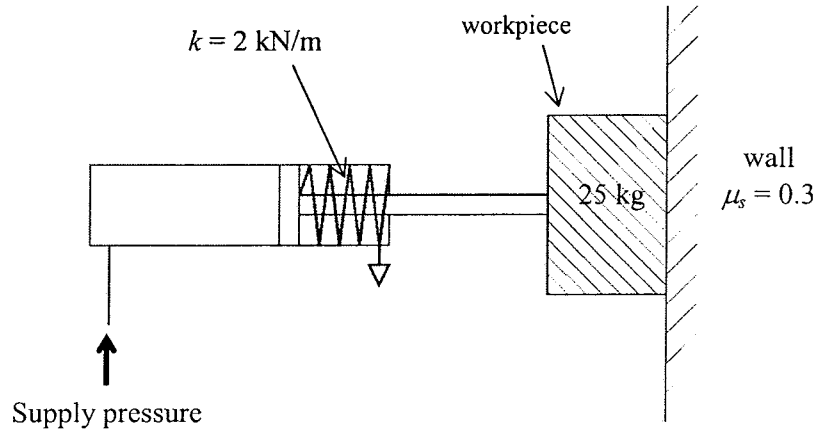


Figure Q1[b]  
Rajah S1[b]

(45 marks/markah)

- [c] By selecting the appropriate components shown in Figure Q1[c], design a pneumatic circuit that gives the following sequence of operations when a push button is pressed and released: A+, followed by B+ (when push button is pressed) and then simultaneously followed by A- and B- (when push button is released).

Dengan memilih komponen-komponen yang sesuai dalam Rajah S1[c], reka bentuk suatu litar pneumatik yang memberikan jujukan operasi berikut apabila suatu butang ditekan dan dilepaskan: A+, diikuti B+ (apabila butang tekan ditekan) dan diikuti serentak oleh A- dan B- (apabila butang tekan dilepaskan).

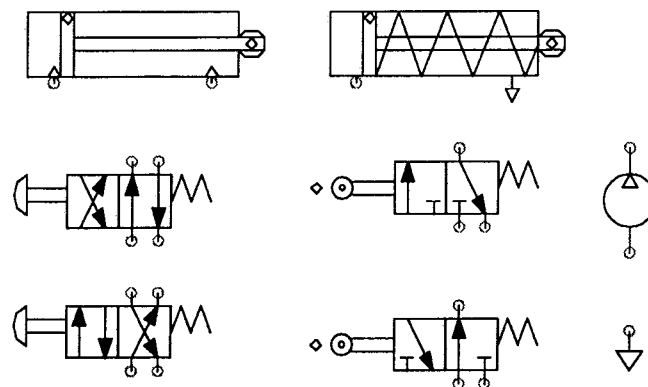


Figure Q1[c]  
Rajah S1[c]

(40 marks/markah)

- Q2. [a] With the aid of  $I$ - $V$  characteristic curves, explain the basic difference between a diode and a thyristor. How can a thyristor be applied to control a steady d.c. voltage to produce a variable voltage?

*Dengan bantuan lakaran lengkung-lengkung ciri  $I$ - $V$ , terangkan perbezaan asas antara diod dengan tiristor. Bagaimanakah tiristor boleh digunakan untuk mengawal voltan a.t. mantap untuk menghasilkan voltan bolehubah?*

(20 marks/markah)

- [b] The torque  $T$  developed by a permanent magnet d.c. motor is proportional to the current  $i$  flowing in its rotor windings, while the back e.m.f.  $v_b$  generated is proportional to the motor speed  $N$ . Based on this information and the equivalent circuit of the motor, derive expressions for:

- (i) the motor speed  $N$  in terms of the supply voltage  $V$ , rotor current  $i$  and armature resistance  $R$
- (ii) the torque  $T$  in terms of  $V$ ,  $N$  and  $R$ .

Hence, sketch the speed-current and torque-speed relationship for the permanent magnet d.c. motor. Explain how the starting torque of the motor can be increased.

*Tork  $T$  yang dihasilkan oleh motor a.t. magnet kekal berkadar langsung kepada arus  $i$  yang mengalir di dalam lingkaran rotornya, manakala d.g.e. balik  $v_b$  terjana berkadar langsung kepada laju motor  $N$ . Berdasarkan maklumat ini dan litar setara bagi motor tersebut, terbitkan ungkapan untuk :*

- (i) laju motor  $N$  dalam sebutan voltan bekalan, arus rotor  $i$  dan rintangan anker  $R$
- (ii) tork  $T$  dalam sebutan  $V$ ,  $N$  dan  $R$ .

*Seterusnya lakarkan hubungkait laju-arus dan tork-arus bagi motor a.t. magnet kekal. Terangkan bagaimana tork permulaan bagi motor tersebut dapat ditingkatkan.*

(40 marks/markah)

- [c] Sketch the circuit diagram for series-wound d.c. motor and label the various elements in the circuit. If the voltage drop across the field and armature winding can be neglected, show that the motor speed  $N$  is given by

$$N = k \frac{V}{\Phi}$$

where  $V$  is the supply voltage  $\Phi$  is the flux per pole and  $k$  is a constant. Sketch the speed-current characteristics of the series-wound motor and explain why the motor can reach very high speeds when the supply is cut-off.

*Lakarkan gambarajah litar bagi motor a.t. terlilit siri dan labelkan ke semua elemen dalam litar tersebut. Jika susutan voltan pada lilitan medan dan lilitan angker boleh diabaikan, tunjukkan bahawa laju motor  $N$  diberikan oleh:*

$$N = k \frac{V}{\Phi}$$

*di mana  $V$  ialah voltan bekalan  $\Phi$  ialah fluks setiap kutub dan  $k$  ialah pemalar. Lakarkan ciri-ciri laju-arus bagi motor terlilit siri dan terangkan kenapa motor tersebut boleh mencapai kelajuan yang sangat tinggi sekiranya bekalan diputuskan.*

(20 marks/markah)

- [d] A stepper motor is to give a rotational speed of 0.5 rev/s and has a step angle of  $15^\circ$ . Calculate the number of pulses per second that a microprocessor needs to produce so that the required speed of 0.5 rev/s can be achieved. Will the speed increase or decrease if a motor with step angle of  $7.5^\circ$  is used with the same pulse rate?

*Sebuah motor langkah perlu memberi laju putaran 0.5 rev/s dan mempunyai sudut langkah sebanyak  $15^\circ$ . Kirakan bilangan dedenyut setiap saat yang perlu dihasilkan oleh mikropemproses supaya kelajuan 0.5 rev/s boleh dicapai. Adakah laju motor bertambah atau berkurang sekiranya motor dengan sudut langkah  $7.5^\circ$  digunakan? Terangkan.*

(20 marks/markah)

- Q3. [a] Explain the terms 'degrees of freedom' and 'kinematic design'. Determine the number of degrees of freedom and the number of constraints in the mechanisms shown in Figure Q3[a](i)-(ii). Is the mechanism in Figure Q3[a](ii) a kinematic design? Why?

*Terangkan istilah 'darjah kebebasan' dan 'reka bentuk kinematik'. Tentukan bilangan darjah kebebasan dan bilangan kekangan yang terdapat pada mekanisma-mekanisma yang ditunjukkan dalam Rajah S3[a](i)-(ii). Adakah mekanisma dalam Rajah S3[a](ii) reka bentuk kinematik? Kenapa?*

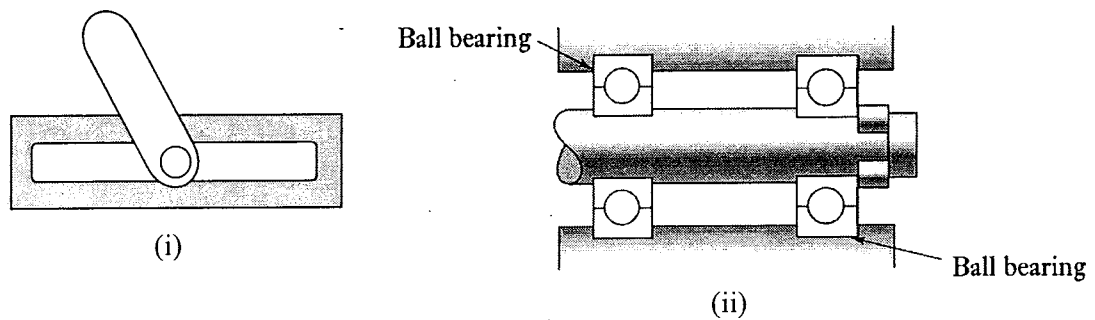


Figure Q3[a]  
Rajah S3[a]

(20 marks/markah)

- [b] Figure Q3[b] shows a cam-follower arrangement. In which direction should the cam rotate (clockwise or counter-clockwise)? Why?

Sketch the displacement-rotation angle profile that describes the movement of the follower when the cam rotates through  $360^\circ$ , the angle being measured from the position shown in the diagram. Label the radial distances  $R_1$  and  $R_2$  in your sketch.

Rajah S3[b] menunjukkan susunan sesondol-pengikut. Dalam arah manakah sesondol perlu berputar (arah jam atau lawan jam). Kenapa?

Lakarkan profil anjakan-sudut putaran yang menghuraikan gerakan pengikut apabila sesondol berputar melalui  $360^\circ$ , sudut diukur dari kedudukan yang ditunjukkan dalam rajah tersebut. Labelkan jarak-jarak jejari  $R_1$  dan  $R_2$  dalam lakaran anda.

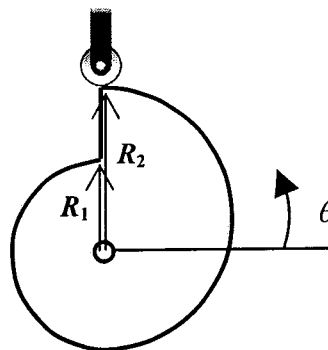


Figure Q3[b]  
Rajah S3[b]

(30 marks/markah)

- [c] What is the difference between incremental and absolute rotary position encoders? Name one application for each type of encoder.

Figure Q3[c] shows a 3-bit optical absolute encoder. Determine the resolution of the encoder. If the digital readout shows 101, what is the angle measured from the reference location shown in the figure. Determine the resolution if the number of bits is increased to 8.

*Apakah perbezaan antara pengkod kedudukan sudut tokokan dan mutlak? Namakan satu kegunaan bagi setiap jenis pengkod.*

*Rajah S3[c] menunjukkan pengkod optik 3-bit. Tentukan resolusi pengkod tersebut. Jika bacaan digital menunjukkan 101, apakah nilai sudut diukur daripada lokasi rujukan yang ditunjukkan dalam rajah tersebut? Tentukan resolusi jika bilangan bit ditingkatkan kepada 8.*

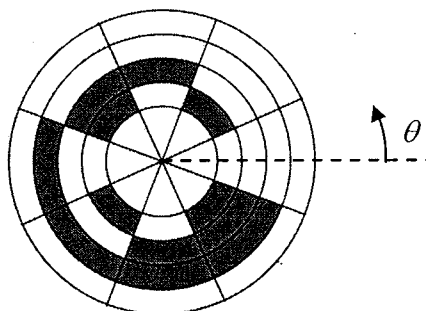


Figure Q3[c]  
Rajah S3[c]

(30 marks/markah)

- [d] Sketch diagrams to show the difference between non-linearity error and hysteresis error.

A thermocouple has the data given in Table Q3[c] below. Determine the non-linearity error at 40°C as a percentage of the full range output if a linear relationship between the output voltage and temperature is assumed over the full range.

*Lakarkan rajah-rajah untuk menunjukkan perbezaan antara ralat ketaklinearan dan ralat histeresis.*

*Suatu pengganding suhu mempunyai data yang ditunjukkan dalam Jadual S3[c]. Tentukan ralat ketaklinearan pada 40°C sebagai peratus daripada julat penuh output jika hubungkait linear antara voltan dan suhu diandaikan pada seluruh julat.*

(20 marks/markah)

**Table Q3[c]**  
*Jadual S3[c]*

| <b>Temperature (°C)</b><br><i>Suhu (°C)</i> | <b>Output voltage (mV)</b><br><i>Voltan output (mV)</i> |
|---|---|
| 0   | 0.00  |
| 40  | 0.85  |
| 120   | 2.80  |

## **SECTION B**

- Q4. [a] Explain the main advantage of using a programmable logic controller (PLC) over using an electronic control circuit to control a machine.**

*Terangkan kelebihan utama menggunakan sebuah pengawal logik bolehaturcara (PLC) berbanding menggunakan satu litar kawalan elektronik bagi mengawal sebuah mesin.*

**(15 marks/markah)**

- [b] You need to purchase a programmable logic controller (PLC) to switch ON and OFF a 24 V direct current motor every 10 seconds. The motor requires a maximum current of 1A. Select the type of PLC output that is suitable for this application and explain the reasons.**

*Anda perlu membeli sebuah pengawal logik bolehaturcara (PLC) bagi menghidupkan dan mematikan sebuah motor arus terus 24 V setiap 10 saat. Motor tersebut memerlukan arus maksimum 1A. Pilih jenis keluaran PLC yang sesuai bagi aplikasi ini dan terangkan sebab-sebabnya.*

**(15 marks/markah)**

- [c] A programmable logic controller (PLC) is used to control a double acting pneumatic cylinder driven by a double solenoid 5/2 directional control valve with two magnetic switches. Draw the electrical circuit connecting the PLC input and output terminals to the two solenoids and the two magnetic switches. Draw also the pneumatic circuit connecting the pneumatic cylinder to the 5/2 directional control valve.**

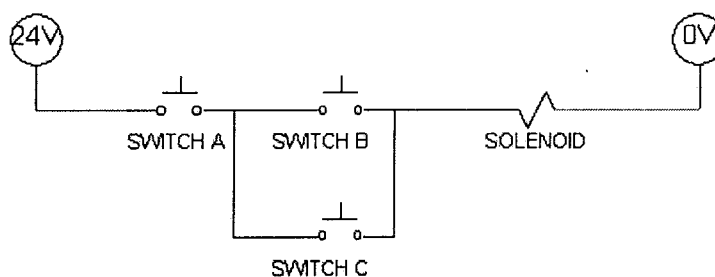
*Sebuah pengawal logik bolehaturcara (PLC) digunakan bagi mengawal sebuah silinder pneumatik tindakan berganda yang dipacu oleh sebuah injap kawal arah 5/2 bersolenoid berganda dengan dua suis magnet. Lukis litar elektrik menyambungkan terminal-terminal masukan dan keluaran PLC kepada kedua-dua solenoid dan kedua-dua suis magnet. Lukiskan juga litar pneumatik menyambungkan silinder pneumatik kepada injap kawalan arah 5/2.*

**(40 marks/markah)**



- [d] Draw a ladder diagram and electrical circuits connecting inputs and output of a programmable logic controller (PLC) to replace the electrical circuit shown in Figure Q4[d].

*Lukiskan satu rajah tetangga dan litar-litar elektrik menyambungkan masukan-masukan dan keluaran sebuah pengawal logik bolehaturcara (PLC) bagi menggantikan litar elektrik yang ditunjukkan dalam Rajah S4[d].*



**Figure Q4[d]**  
*Rajah S4[d]*

(30 marks/markah)

- Q5. [a] A programmable logic controller (PLC) is used to control an electrical heater. Draw a ladder diagram that utilizes NAND function combining a temperature sensor and a pressure sensor to control the heater. Explain the flow of the current in the ladder diagram in four different conditions of the sensors.

*Sebuah pengawal logik bolehaturcara (PLC) digunakan bagi mengawal sebuah pemanas elektrik. Lukiskan satu rajah tetangga yang menggunakan fungsi NAND menggabungkan sebuah penderia suhu dan sebuah penderia tekanan bagi mengawal pemanas tersebut. Terangkan aliran arusnya dalam rajah tetangga dalam empat keadaan berbeza penderia-penderia tersebut.*

(15 marks/markah)

- [b] Explain how a program can be written and loaded into a programmable logic controller (PLC).

*Terangkan bagaimana satu aturcara boleh ditulis dan dimuatkan ke dalam sebuah pengawal logik bolehaturcara (PLC).*

(15 marks/markah)

- [c] Consider the requirement for a pneumatic system with double solenoid directional control valves controlling two double acting cylinders A and B using a programmable logic controller (PLC). Limit switches a-, a+, b-, b+ are used to detect the limits of the piston rod movements in the cylinders. A switch is used to start and stop the cycle. Draw a ladder diagram to produce a cylinder activation sequence A+, B+, B-, A-.

Ambil kira keperluan bagi satu sistem pneumatik dengan injap kawalan arah solenoid berganda mengawal dua silinder tindakan berganda A dan B menggunakan sebuah pengawal logik bolehaturcara (PLC). Suis-suis had a-, a+, b-, b+ digunakan untuk mengesan had pergerakan rod omboh dalam silinder. Satu suis diguna untuk memula dan memberhentikan kitarannya. Lukiskan satu rajah tetangga bagi menghasilkan satu urutan tindakan silinder A+, B+, B-, A-.

(40 marks/markah)

- [d] Simplify the logic function shown in ladder diagram in Figure Q5[d] using marker or internal relay.

Ringkaskan fungsi logik yang ditunjukkan dalam rajah tetangga dalam Rajah S5[d] menggunakan penanda atau geganti dalaman.

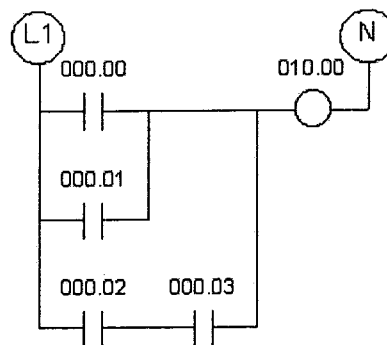


Figure Q5[d]  
Rajah S5[d]

(30 marks/markah)

- Q6. [a] Consider the ladder diagram shown in Figure Q6[a]. Explain what happens if memory 202 contains number 122 while memory 204 contains number 113 and the switch which is connected to input terminal 000.00 is pushed.

Lihat rajah tetangga yang ditunjukkan dalam Rajah S6[a]. Terangkan apakah yang akan berlaku sekiranya memori 202 mengandungi nombor 122 manakala memori 204 mengandungi nombor 113 dan suis yang disambungkan kepada terminal masukan 000.00 ditekan.

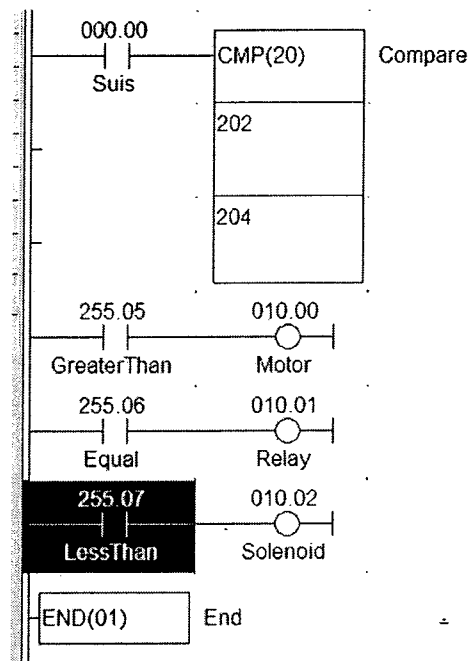


Figure Q6[a]  
Rajah S6[a]

(20 marks/markah)

[b] Convert hexadecimal number 3EA7 to

- (i) decimal,
- (ii) binary,
- (iii) octal and
- (iv) binary coded decimal (BCD) numbers.

*Tukarkan nombor perenambelasan 3EA7 kepada*

- (i) *nombor perpuluhan,*
- (ii) *perduaan,*
- (iii) *perlapanan dan*
- (iv) *perpuluhan berkod binari (BCD)*

(20 marks/markah)

[c] Use Karnaugh map method to obtain the simplest Boolean equation from the truth table shown in Table Q5[c].

*Gunakan kaedah peta Karnaugh untuk mendapatkan persamaan Boolean teringkas daripada jadual kebenaran yang ditunjukkan dalam Jadual S5[c].*

**Table Q5[c]**  
*Jadual S5[c]*

| Input |   |   |   | Output |
|-------|---|---|---|--------|
| A     | B | C | D | Q      |
| 0     | 0 | 0 | 0 | 0      |
| 0     | 0 | 0 | 1 | 0      |
| 0     | 0 | 1 | 0 | 0      |
| 0     | 0 | 1 | 1 | 0      |
| 0     | 1 | 0 | 0 | 0      |
| 0     | 1 | 0 | 1 | 1      |
| 0     | 1 | 1 | 0 | 0      |
| 0     | 1 | 1 | 1 | 1      |
| 1     | 0 | 0 | 0 | 0      |
| 1     | 0 | 0 | 1 | 0      |
| 1     | 0 | 1 | 0 | 1      |
| 1     | 0 | 1 | 1 | 0      |
| 1     | 1 | 0 | 0 | 0      |
| 1     | 1 | 0 | 1 | 0      |
| 1     | 1 | 1 | 0 | 1      |
| 1     | 1 | 1 | 1 | 0      |

(40 marks/markah)

- [d] If the truth table for a system produce the Boolean equation  $Q = B \bullet \overline{C} \bullet \overline{D} + A \bullet \overline{B} \bullet C$ , draw the ladder diagram to control the system.

*Sekiranya jadual kebenaran bagi sesuatu sistem menghasilkan persamaan Boolean  $Q = B \bullet \overline{C} \bullet \overline{D} + A \bullet \overline{B} \bullet C$ , lukiskan rajah tetangga bagi mengawal sistem tersebut.*

(20 marks/markah)